

Evaluasi Stabilitas Lereng Pada Tubuh Bendungan Butak, Kabupaten Grobogan, Provinsi Jawa Tengah

Adi Setya Yudha Pratama^{1*}, Najib Najib¹, Devina Trisnawati¹

¹Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang

Abstrak

Bendungan Butak yang terletak di Desa Butak, Kecamatan Kradenan, Kabupaten Grobogan, Provinsi Jawa Tengah merupakan salah satu bangunan air dengan tipe bendungan homogen. Fungsi utama dari bendungan ini ialah sebagai sarana irigasi dengan luas daerah aliran 160 km². Mengingat urgensinya, suatu bendungan dapat dikategorikan tingkat bahayanya berdasarkan hasil evaluasi stabilitas lereng bendungan. Upaya ini dapat dilakukan dengan menganalisis faktor keamanan (Fk) bendungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai faktor keamanan (Fk) pada tubuh Bendungan Butak. Metode yang digunakan adalah metode observasi dan metode analisis data secara kuantitatif meliputi pemetaan geologi, pemetaan geoteknik, hasil pengeboran inti, dan uji laboratorium mekanika tanah dari contoh tanah tidak terganggu dengan uji *soil test* berikut uji *triaxial UU* serta perhitungan koefisien beban gempa terkoreksi OBE dan MDE. Hasil penelitian dari penyelidikan pemetaan permukaan diperoleh satuan endapan aluvium dengan persebaran lempung dan lanau berada di sekitar bendungan. Hasil penyelidikan bawah permukaan dengan 4 lubang bor terdiri dari tanah lempung. Parameter desain Bendungan Butak meliputi berat isi basah (γ), kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), dan garis freatik muka air bendungan, serta beban gempa terkoreksi (K_o) digunakan untuk memperoleh nilai faktor keamanan (Fk) menggunakan perangkat lunak *Slide V6.009* dengan metode Bishop. Hasil analisis pada 14 kondisi dari muka air maksimum diperoleh hasil Fk hitung > 1,2 Fk minimum, muka air normal dengan hasil Fk hitung > 1,1 Fk minimum, dan muka air surut cepat didapatkan hasil Fk hitung > 1,3 Fk minimum, sehingga Bendungan Butak dikategorikan memenuhi syarat keamanan dari standar Fk minimum yang ditetapkan oleh SNI 8064;2016.

Kata kunci: Bendungan Butak, stabilitas lereng, faktor keamanan (Fk).

Abstract

Butak Dam which located in Butak Village, Kradenan District, Grobogan Regency, Central Java Province is one type of homogeneous dam. The main function of this dam is as an irrigation facility with a flow area of 160 km². Given its urgency, a dam can be categorized as a hazard based on the results of the stability evaluation of the dam slope. This effort can be done by analyzing the safety factor (Sf) of the dam. This study aims to determine the value of the safety factor (Sf) on the body of the Butak Dam. The method used is the method of observation and method of quantitative data analysis including geological mapping, geotechnical mapping, core drilling results, and soil mechanics laboratory tests from samples of undisturbed soil with soil test following triaxial UU test and calculation of OBE and MDE corrected earthquake load coefficients. The results of the investigation of the surface mapping were obtained by alluvium deposits with the distribution of clay and silt around the dam. The results of the subsurface investigation with 4 bore holes consist of clay soil. By obtaining Butak Dam design parameters including wet content weight (γ), cohesion (c), inner shear angle (ϕ), and phreatic level of the dam water level, and corrected earthquake load (K_o) is used to obtain the value of the safety factor (Sf) using Slide V6.009 software with Bishop method. The results of the analysis on 14 conditions of the maximum water level obtained results of Sf count > 1.2 Sf minimum, normal water level with the results of Sf count > 1.1 Sf minimum, and fast low tide faces obtained Sf count > 1.3 Sf minimum, so that the Butak Dam is categorized safety as the requirements of the minimum Sf standard set by SNI 8064 ; 2016.

Keywords: Butak Dam, slope stability, safety factor (Sf).

*) Korespondensi: Adi_Setya_Yudha_Pratama@yahoo.com

PENDAHULUAN

Kabupaten Grobogan merupakan salah satu wilayah penggerak sektor agraria di Provinsi Jawa Tengah dengan jumlah penduduk $\pm 1,4$ juta jiwa. Kebutuhan akan ketersediaan air sangat vital dan harus dimanajemen dengan baik salah satunya dengan pemanfaatan ketika musim penghujan. Oleh karena itu, perlu dilakukan usaha-usaha untuk menampung air saat musim hujan dalam sebuah tampungan raksasa berupa bendungan. Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 37 Pasal 1 Tahun 2010 tentang bendungan, bahwa bendungan adalah bangunan yang berupa urugan tanah, urugan batu, beton, dan pasangan batu yang dibangun untuk menahan dan menampung air, dapat pula dibangun untuk menahan dan menampung limbah tambang (*tailing*), atau menampung lumpur sehingga terbentuk waduk.

Selain aspek positif manfaat bendungan harus dipertimbangkan faktor keamanan terhadap pengaruh kestabilan lereng bendungan. Hal ini harus menjadi perhatian khusus guna meminimalkan dampak negatif yang ditimbulkan baik materi dan korban jiwa. Diantaranya terjadi keruntuhan atau longsoran bendungan akibat beban melampaui volume tampungan, amblasen, dan banjir bandang. Sehingga perlu adanya evaluasi yang menyeluruh dan berkala kestabilan lereng bendungan secara komprehensif.

Kestabilan lereng suatu bendungan merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi dalam suatu bendungan, dimana jika syarat kestabilan lereng tersebut tidak terpenuhi, maka bisa mengakibatkan masalah keamanan bendungan yang meliputi retakan, rembesan, dan longsoran. Kestabilan lereng ini dipengaruhi oleh banyak faktor, antara lain material tubuh bendungan, kemiringan tubuh bendungan, gelombang air atau beban gempa dan lain-lain (Fredlund dan Rahardjo, 1993). Penelitian di Bendungan Butak, Kabupaten Grobogan, Provinsi Jawa Tengah dilakukan untuk mengetahui tingkat faktor keamanan (Fk) kestabilan lereng pada bendungan yang diteliti sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI) 8064: 2016.

Penyelidikan Geoteknik

Penyelidikan geoteknik terdiri atas dua jenis penyelidikan itu penyelidikan permukaan dan penyelidikan bawah permukaan. Adapun penjelasannya berikut.

1. Penyelidikan permukaan bertujuan untuk menjelaskan kondisi geologi di permukaan dengan lengkap dengan cara melakukan pemetaan pada daerah yang sedang diteliti. Penyelidikan ini terdiri dari pemetaan geologi dan pemetaan geoteknik (Sosrodarsono dan Takeda, 1981).
2. Penyelidikan bawah permukaan diperlukan contoh (sampel) batuan untuk identifikasi, klasifikasi, pemeriksaan di lapangan maupun uji di laboratorium. Sampel batuan yang diambil harus mewakili lapisan batuan yang dijumpai karena sampel yang tidak mewakili akan menghasilkan kesimpulan yang salah mengenai kondisi bawah permukaan (Seed dan Idriss, 1971). Penyelidikan bawah permukaan dilakukan dengan pengeboran inti menggunakan *single tube core barrel* untuk memperoleh sampel batuan termasuk didalamnya sampel *Undisturbed Sample* (UDS) berikut pengujian *Standart Penetration Test* (SPT) di lapangan.

Uji Laboratorium Mekanika Tanah

Pengujian laboratorium yang dilakukan bertujuan untuk memperoleh data dan informasi parameter sifat fisik maupun sifat mekanika tanah, selanjutnya parameter tersebut akan digunakan sebagai bahan analisis dan pertimbangan perencanaan serta desain tipe penanganan longsoran.

Pengujian ini mencakup pengujian *soil test* meliputi nilai kandungan air pada tanah atau batuan, berat isi tanah kering atau basah, dan *specific gravity* (Ameratunga dkk., 2016) dan uji *triaxial unconsolidated undrained* (UU).

Tipe Bendungan Urugan

Bendungan merupakan bangunan yang berfungsi menampung air hujan untuk dipergunakan sebagai air baku, irigasi, air bersih, dan sebagainya (Soedibyo, 1993). Suatu bendungan yang dibangun dengan cara menimbunkan bahan-bahan seperti batu, kerikil, pasir dan tanah pada komposisi tertentu dengan fungsi sebagai pengangkat permukaan air yang terdapat di dalam bendungan disebut bendungan tipe urugan (Soedibyo, 1993). Bendungan pada penelitian ini termasuk dalam kategori tipe bendungan urugan homogen.

Analisis Kegempaan

Chopra (1995) menyebutkan bahwa gempa bumi adalah suatu peristiwa alam dimana terjadi getaran pada permukaan bumi akibat adanya pelepasan energi secara tiba-tiba dari pusat gempa. Metode analisis gempa yang digunakan untuk merencanakan bangunan tahan gempa dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu analisis statik dan analisis dinamik (Chopra, 1995).

Analisis kegempaan ini dilakukan dalam beberapa tahap.

1. Klasifikasi kelas beban bendungan.
2. Kelas risiko bendungan.
3. Kriteria beban bendungan
4. Koefisien gempa terkoreksi bendungan.

Stabilitas Lereng Tubuh Bendungan

Penentuan kestabilan lereng identik dengan faktor keamanan (F_k), yang merupakan perbandingan antara gaya-gaya yang menahan, terhadap gaya-gaya yang menggerakkan tanah tersebut. Dalam penelitian ini untuk menentukan faktor keamanan menggunakan Metode Bishop. Metode ini sangat cocok digunakan untuk pencarian secara otomatis bidang runtuh kritis yang berbentuk busur lingkaran untuk mencari faktor keamanan minimum selain memberikan hasil perhitungan faktor keamanan yang cukup teliti.

Metode Bishop dapat dicari dengan mengetahui berat segmen tanah (W), kohesi tanah (c), sudut antara bidang horisontal dengan garis kerja kohesi (θ), sudut geser dalam (ϕ), dan kemiringan lereng (β) dengan persamaan sebagai berikut:

$$Fk = \frac{1}{\sum W \cdot \sin \theta} \sum \frac{\{cb + W(1 - \mu\beta) \tan \phi\} \sec \theta}{1 + \frac{\tan \theta \tan \phi}{Fk}} \dots\dots (1)$$

Perhitungan metode bishop ini menggunakan *software Slide V6.009* guna menentukan faktor keamanan (F_k) dari paramter desain yang dibuat.

Spesifikasi Bendungan

Bendungan Butak dengan spesifikasi teknis oleh Balai Pengelolaan Sumber Daya Air (BPSDA) Serang Lusi Juana (2016), yaitu :

1. Tahun Konstruksi : 1901
2. Elevasi Puncak : 69,60 m
3. Elevasi Bendungan : 27,3°
4. Tinggi Bendungan : 5,63 m

5. Lebar Puncak : 4,00 m
6. Panjang puncak : 235,00 m
7. MA Normal : 4,061 m
8. MA Maksimum : 4,732 m
9. Volume Normal : 1,60 juta m³

METODOLOGI

Metode Observasi Lapangan

Metode ini dimulai dengan pembahasan awal mengenai studi literatur tentang kestabilan lereng bendungan yang dilanjutkan dengan pengumpulan data sekunder seperti peta topografi, peta geologi regional, peta rupa bumi Indonesia (RBI) dan peta zona gempa Indonesia untuk mencari ataupun mengambil data yang berada di permukaan bumi. Setelah studi literatur dan data sekunder lengkap, kemudian dilakukan survei dan penyelidikan di lokasi penelitian.

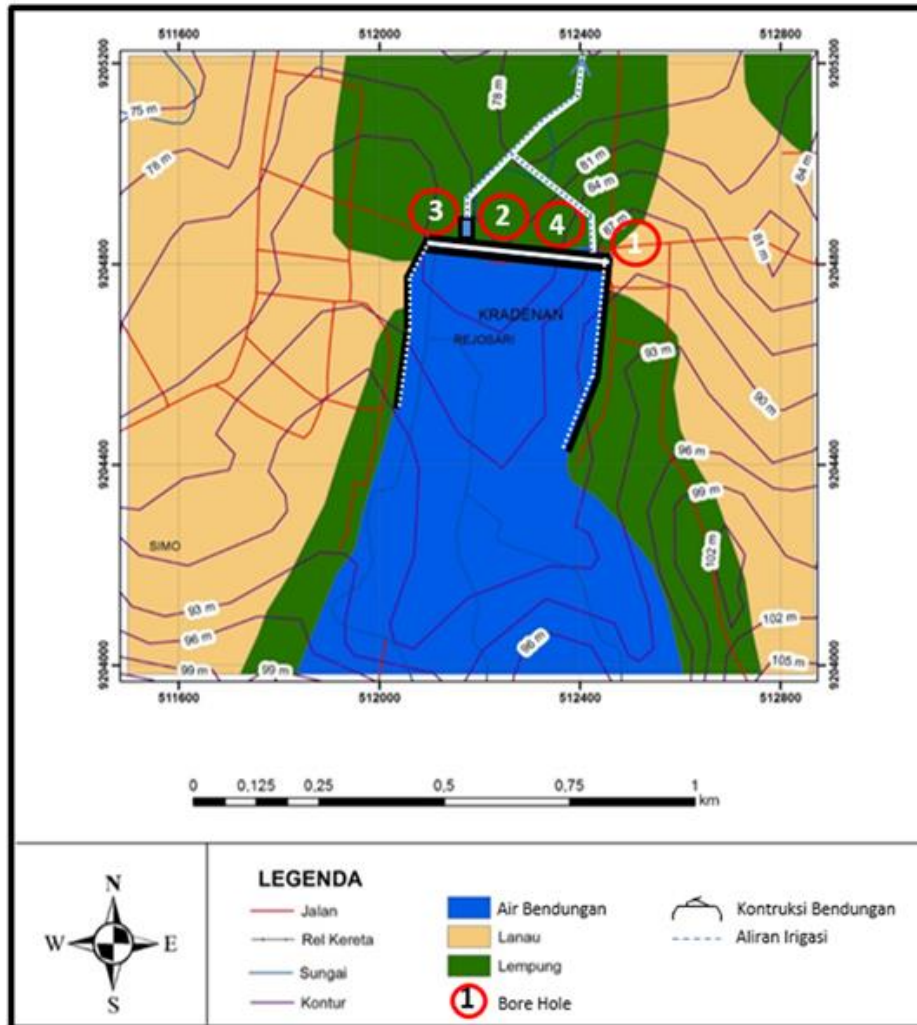
Metode Analisis

Metode analisis meliputi pengambilan data primer yaitu pemetaan geologi, geoteknik, dan pembaran inti. Hasil pemetaan geologi dan pemetaan geoteknik di peroleh peta geomorfologi, peta aliran sungai, dan peta geologi serta dan peta geoteknik. Adapun hasil pengeboran inti bertujuan untuk mencari data yang terdapat di dalam permukaan bumi yaitu dengan cara mengambil sampel batuan pada kedalaman tertentu untuk selanjutnya dilakukan uji laboratorium. Uji laboratorium yaitu uji *soil test* dan uji *triaxial*. Hasil uji laboratorium yang diperoleh berupa besaran sudut geser dalam (ϕ), kohesi (c), dan berat isi (γ) selanjutnya akan dijadikan parameter desain berikut analisis kegempaan (K_o) serta kondisi muka air bendungan. Perhitungan dan permodelan analisis stabilitas lereng bendungan menggunakan *software Slide V6.009*.

HASIL

Litologi Daerah Penelitian

Lokasi daerah penelitian terletak di Bendungan Butak, Kecamatan Kradenan, Kabupaten Grobogan, Provinsi Jawa Tengah dengan pada dengan luas dimensi pemetaan 1,5 km x 1,5 km. Daerah penelitian ini berada pada Satuan Endapan Aluvium (Q_a) yang tersusun dari lempung dan lanau. Profil bendungan yang menunjukkan keberadaan dua material tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Peta Geoteknik Bendungan Butak dan Sekitarnya.

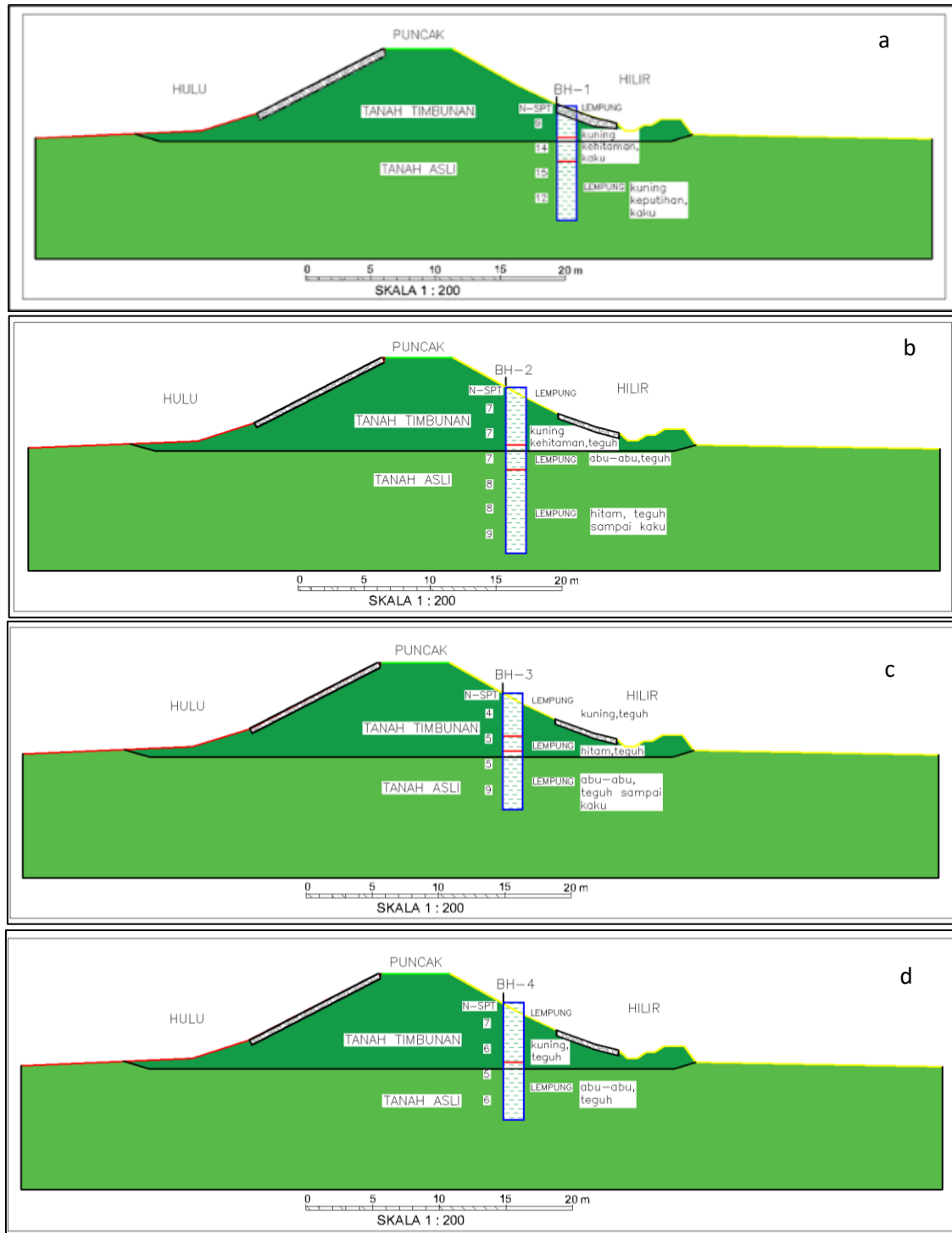
Tabel 1. Hasil penyelidikan bawah permukaan

No	No. Bor	Kedalaman (m)	Nilai N-SPT	Jenis Tanah
1	BH - 1	0,00 – 2,00	9	Lempung, warna kuning kehitaman, kaku
		2,00 – 3,50	14	Lempung, warna kuning keputihan, kaku
		3,50 – 5,00	15	Lempung, warna kuning keputihan, kaku
		5,00 – 7,00	12	Lempung, warna kuning keputihan, kaku
2	BH - 2	0,00 – 2,00	7	Lempung, warna kuning kehitaman, teguh
		2,00 – 3,50	7	Lempung, warna kuning kehitaman, teguh
		3,50 – 5,00	7	Lempung, warna abu-abu, teguh
		5,00 – 6,50	8	Lempung, warna hitam, teguh sampai kaku
		6,50 – 8,00	8	Lempung, warna hitam, teguh sampai kaku
		8,00 – 10,00	9	Lempung, warna hitam, teguh sampai kaku
3	BH - 3	0,00 – 2,60	4	Lempung, warna kuning, teguh
		2,60 – 3,50	5	Lempung, warna hitam, teguh
		3,50 – 5,00	5	Lempung, warna abu-abu, teguh
		5,00 – 7,00	9	Lempung, warna abu-abu, teguh
4	BH - 4	0,00 – 2,00	7	Lempung, warna kuning, teguh
		2,00 – 3,50	6	Lempung, warna kuning, teguh
		3,50 – 5,00	5	Lempung, warna abu-abu, teguh
		5,00 – 7,00	6	Lempung, warna abu-abu, teguh

a. Lempung

Pengamatan secara megaskopis warna dari material berukuran lempung ialah hitam kecoklatan. Ukuran material lempung ini sangat halus (0,002 mm) dan termasuk semen non-karbonatan pada. Kebanyakan material lempung yang tersingkap di daerah penelitian telah mengalami pelapukan.

Lempung tersebut memiliki persebaran sebesar 40 % di daerah penelitian dibandingkan tanah atau batuan lainnya. Lempung ini berada cenderung pada sungai-sungai kecil dan areal persawahan dengan daerah yang jaraknya relatif sangat dekat dengan bendungan di Desa Butak dan di Desa Pakis.



Gambar 2. Potongan melintang tubuh bendungan (a) BH-1, (b) BH-2, (c) BH-3, dan (d) BH-4.

Tebal lapisan lempung ini tidak dapat ditentukan pasti dikarenakan persebarannya disesuaikan kontur permukaan.

b. Lanau

Material berukuran lanau diamati secara megaskopis memiliki warna coklat keabu-abuan. Ukuran butir material lanau lebih besar dibandingkan lempung dan terasa mengkasar jika disentuh (0,002-0,06 mm) dan termasuk semen non-karbonatan.

Lanau ini persebarannya 60 % dibandingkan lempung. Lanau ini tersebar cenderung pada areal perkebunan dan daerah tinggian yang dekat dengan pemukiman warga di Desa Pakis dan di Desa Rejosari sekitar Bendungan Butak. Tebal lapisan lanau ini tidak dapat ditentukan pasti dikarenakan persebarannya disesuaikan kontur permukaan di sekitar daerah penelitian.

Pengeboran Inti

Penentuan titik pengeboran inti atau mesin Bendungan Butak dilakukan pada bagian hilir yang berada di puncak tubuh bendungan bagian timur sebanyak empat titik. Pengeboran inti bertujuan untuk menggambarkan kondisi bawah permukaan bendungan tersebut secara khusus dan dapat mengetahui lapisan tanah atau batuan yang terdapat di Bendungan Butak di Kabupaten Grobogan. Proses pengeboran ini menggunakan *single tube core barrel*. Pengeboran ini memiliki

kedalaman bervariasi 7 meter pada BH-1, BH-3, dan BH-4 serta 10 meter pada BH-2. Hasil dari pengeboran inti atau mesin Bendungan Butak yang dilakukan pada bagian hilir pada Tabel.1.

Korelasi Hasil Pengeboran Inti

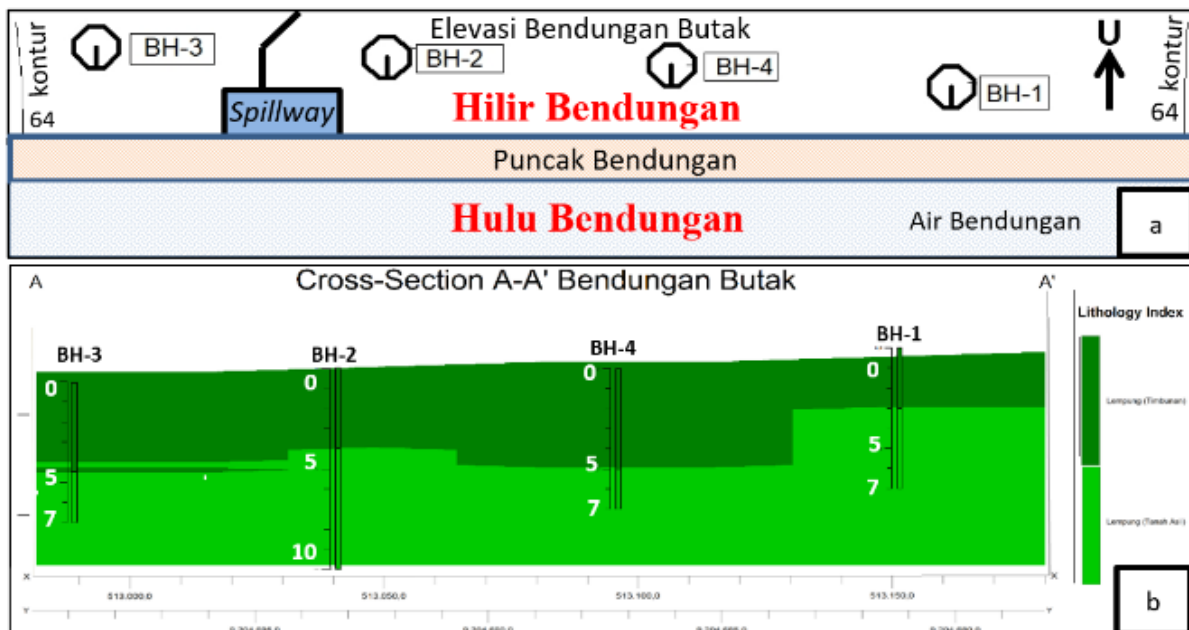
Hasil pengeboran inti yang dilakukan pada titik BH-1, BH-2, BH-3, dan BH-4 menggunakan *software Rockworks16* dilakukan analisis hubungan antar lapisan tanah atau batuan yang ada di bawah permukaan secara 2 dimensi maupun 3 dimensi. Korelasi antar 4 *bore hole* menggambarkan ketebalan dan persebaran batuan di bawah permukaan ditunjukkan pada Gambar 3 dan 4.

Faktor Risiko Bendungan

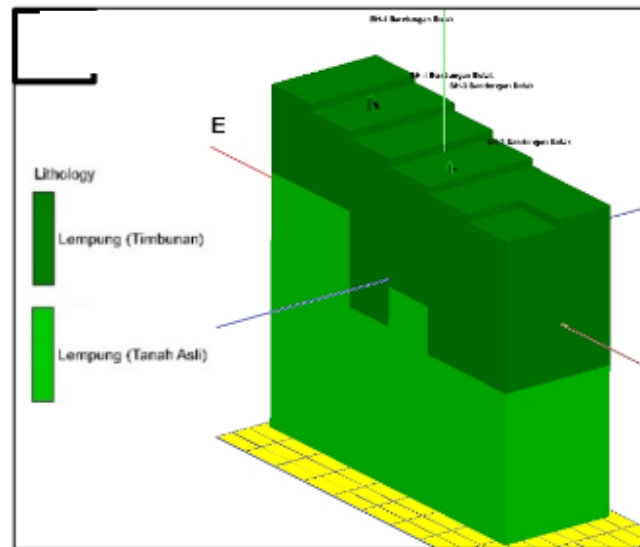
Adapun parameter yang digunakan diperoleh dari Balai Pengelolaan Sumber Daya Air Serang Lusi Juana (2016) pada Bendungan Butak, yaitu :

1. Kapasitas bendungan : 264.000 m³
2. Tinggi bendungan : 5 meter
3. Kebutuhan evakuasi : 0 – 300
4. Tingkat kerusakan hilir : Moderat

Selanjutnya Dari hasil masing-masing parameter ini ditentukan angka pembobotan empat faktor risiko yang didapat maka ditentukan kelas risiko yang dihitung dari faktor risiko total (FR_{tot}). Hasil perhitungan FR_{tot} disajikan dalam Tabel 2 yang dikategorikan ke dalam kelas risiko II (Moderat) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.



Gambar 3. Hasil korelasi 2 dimensi. (a) elevasi BH dan (b) penampang vertikal.



Gambar 4. (a) Hasil permodelan penampang 3 dimensi dan

Tabel 2. Faktor risiko (Pd T-14-2014-A)

Faktor risiko	Angka bobot
Kapasitas Bendungan (FR _k)	2
Tinggi Bendungan (FR _t)	0
Kebutuhan Evakuasi (FR _e)	8
Tingkat Kerusakan Hilir (FR _h)	4
Faktor Risiko Total (FR _{tot})	14

Tabel 3. Kelas risiko (Pd T-14-2014-A)

Faktor risiko total	Kelas risiko
(0-6)	I (Rendah)
(7-18)	II (Moderat)
(19-30)	III (Tinggi)
(31-36)	IV (Ekstrem)

Tabel 4. Kriteria beban gempa (Pd T-14-2014-A)

Kelas risiko dengan masa guna	Persyaratan tanpa kerusakan		Persyaratan diperkenankan ada kerusakan tanpa keruntuhan	
	T (tahun)	Metode Analisis	T (tahun)	Metode Analisis
IV N=50-100	100-200 A _d ≥ 0,1 g	Koef Gempa	10.000 (MDE)	Koef. gempa atau dinamik *
III N=50-100	50-100 A _d ≥ 0,1 g	Koef Gempa	5000 (MDE)	Koef. gempa atau dinamik *
II N=50-100	50-100 A _d ≥ 0,1 g	Koef Gempa	3000 (MDE)	Koef. gempa atau dinamik *
I N=50-100	50-100 A _d ≥ 0,1 g	Koef Gempa	1000 (MDE)	Koef. gempa atau dinamik *

Tabel 5. Parameter desain bendungan

Material	Berat Isi (kN/m ³)	Kohesi (kN/m ²)	Sudut Geser Dalam (°)	Sumber Data
Timbunan	16	30	5	Uji Lab.
Tanah asli	17	15	21,7	Uji Lab.
Rip-Rap	20	0	40	SNI
Beton pelapis	20	200	40	SNI

Area yang termasuk ke dalam kelas risiko II memiliki kriteria yang ditunjukkan pada Tabel 4. Hasil perhitungan koefisien gempa terkoreksi (K_o) baik pada periode ulang 100 tahun (OBE) dengan nilai K_o = 0.06122449 dan periode ulang 3.000 tahun (MDE) dengan nilai K_o = 0.21428571 digunakan untuk parameter pembuatan model.

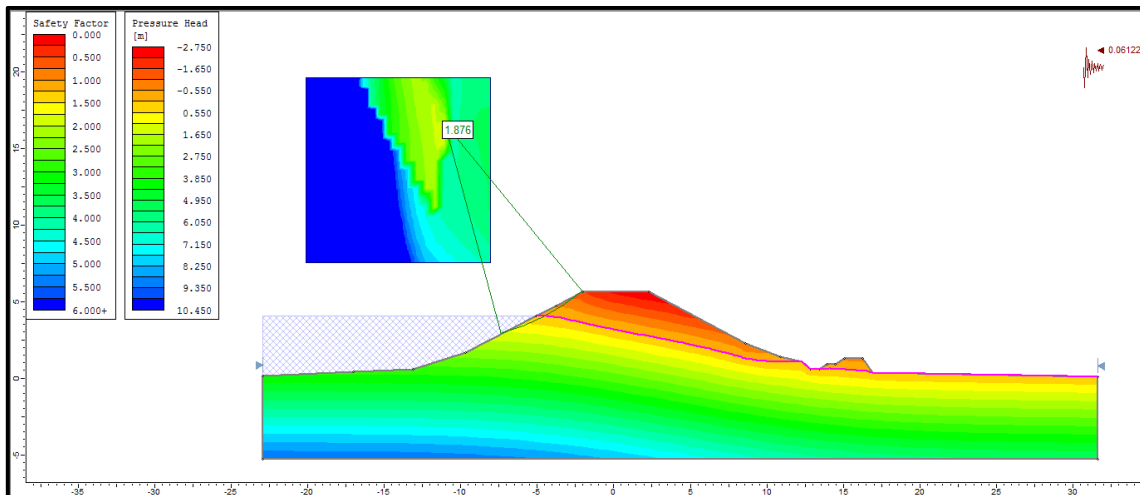
Analisis Stabilitas Lereng

Nilai parameter desain material yang diperoleh untuk pengolahan *software Slide V6.009* disajikan dalam Tabel 5. Hasil perhitungan koefisien gempa terkoreksi Analisis ini Analisis dan Interpretasi Faktor Keamanan (F_k) Kestabilan Lereng di lereng hulu dan hilir dengan beton pelapis dan tanpa beton pelapis :

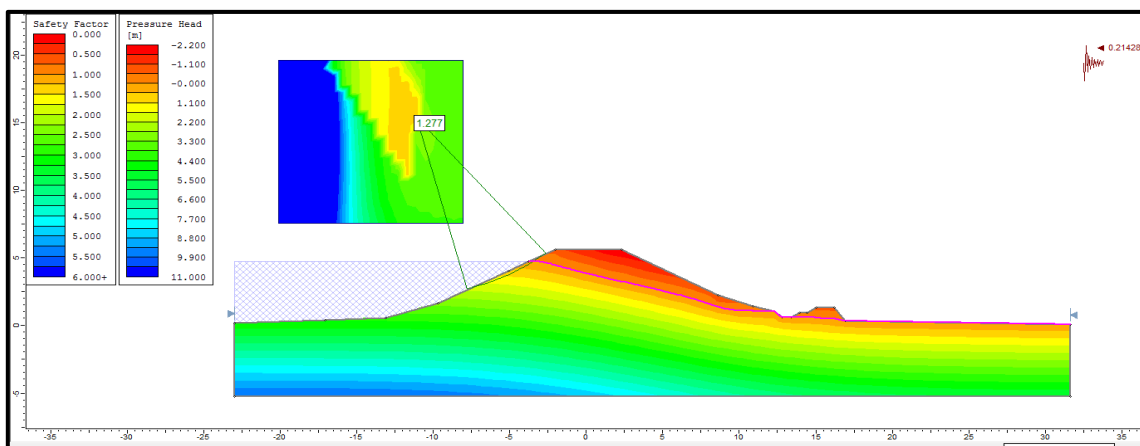
1. Muka air normal tanpa beban gempa.
2. Muka air normal dengan beban gempa OBE (Gambar 5) dan MDE.
3. Muka air maksimum tanpa beban gempa.
4. Muka air maksimum dengan beban gempa OBE dan MDE (Gambar 6).
5. Muka air surut cepat dari normal ke minimum tanpa beban gempa (Gambar 7).

A. Kondisi Muka Air Nomal

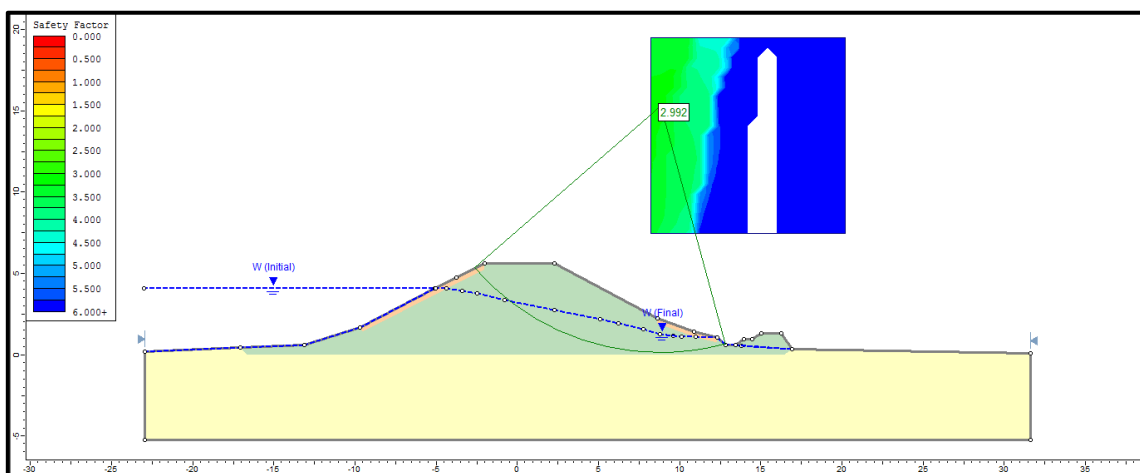
Linsey dan Franzini (1991), mendefinisikan muka air normal adalah elevasi maksimum yang dicapai oleh kenaikan permukaan air waduk pada kondisi operasi biasa, dan genangan normal ditentukan oleh elevasi mercu pelimpah atau puncak pintu pelimpah (*spillway*).



Gambar 5. Hasil analisis kestabilan lereng kondisi bendungan muka air normal dengan beban gempa OBE bagian hulu dengan nilai F_k ialah 1,876.



Gambar 6. Hasil analisis kestabilan lereng kondisi bendungan muka air maksimum dengan beban gempa MDE bagian hulu dengan nilai F_k ialah 1,277.



Gambar 7. Hasil analisis kestabilan lereng kondisi bendungan muka air surut cepat tanpa beban gempa bagian hilir dengan nilai F_k ialah 2,476.

Muka air normal ini terletak pada elevasi 65,53 mdpl dengan memiliki garis freatik dengan ketinggian 4,061 meter dari dasar bendungan dilakukan permodelan *software Slide V6.009* (Lampiran).

Penentuan faktor keamanan (F_k) ini dilakukan tanpa beban gempa bendungan dan beban gempa terkoreksi (K_o) dari hasil perhitungan OBE dan MDE baik di hulu maupun di hilir bendungan sesuai parameter desain pada Tabel 5.

B. Kondisi Muka Air Maksimum

Penentuan elevasi muka air pada bendungan berkaitan dengan elevasi sungai tertinggi dan elevasi sungai terendah. Setelah menganalisis tampang bendungan, kemudian dapat diperoleh elevasi mercu bendungan. Selanjutnya dapat dihitung kontrol muka air di hulu dan di hilir bendungan (Soewarno, 1995).

Muka air maksimum ini terletak pada elevasi 64,86 mdpl dengan memiliki garis freatik dengan ketinggian 4,732 meter dari dasar bendungan untuk dilakukan *input* dalam permodelan *software Slide V6.009* (Lampiran).

Penentuan faktor keamanan (F_k) ini dilakukan tanpa beban gempa bendungan dan beban gempa terkoreksi (K_o) dari hasil perhitungan OBE dan MDE baik di hulu

maupun di hilir bendungan sesuai parameter desain pada Tabel 5.

C. Kondisi Muka Air Surut Cepat

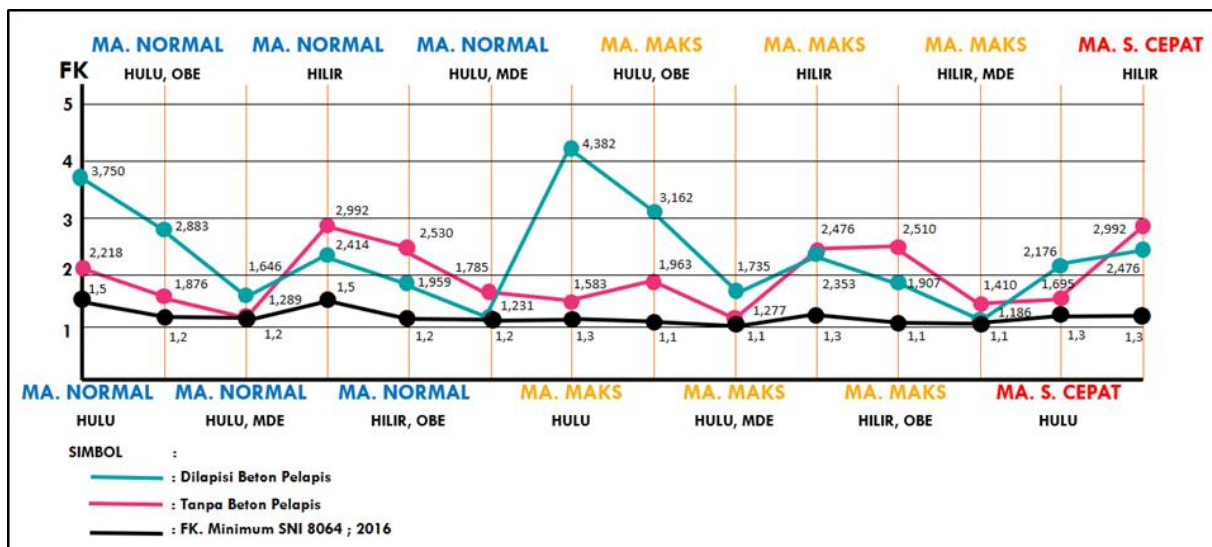
Kondisi muka air surut cepat merujuk pada elevasi muka air bendungan yang mengalami penurunan secara cepat dan tiba-tiba dari kondisi muka air normal ke muka air minimum. Pada kondisi ini terjadinya penurunan signifikan daripada aliran air pori dari rongga-rongga butiran tanah, maka akan terjadi ketidakseimbangan tekanan air pori.

Muka air surut cepat ini terletak pada elevasi 65,53 mdpl dengan memiliki garis freatik dengan ketinggian 4,061 meter mula-mula muka air normal ke muka air minimum dari dasar bendungan untuk dilakukan *input* dalam permodelan *software Slide V6.009* (Lampiran).

PEMBAHASAN

Evaluasi Analisis Stabilitas Lereng Bendungan

Hasil analisis yang telah didapatkan angka faktor keamanan pada berbagai macam kondisi dengan pengolahan *software Slide V6.009*, digunakan untuk menentukan keamanan atau tidaknya suatu bendungan. Faktor keamanan minimum merujuk pada angka yang telah ditetapkan oleh SNI 8064:2016 (analisis stabilitas lereng bendungan tipe urugan) pada masing-masing kondisi.



Gambar 5. Plotting nilai hasil Faktor Keamanan, berdasarkan angka keamanan minimum SNI 8064:2016.

Tabel 6. Hasil analisis nilai Faktor Keamanan.

No	Kondisi Bendungan	Angka Keamanan		Angka Keamanan (SNI)*	Keterangan
		Tanpa Beton Pelapis	Beton Pelapis		
1	Bendungan muka air normal tanpa beban gempa bagian hulu	2,218	3,750	1,5	Memenuhi
2	Bendungan muka air normal dengan beban gempa OBE bagian hulu	1,876	2,833	1,2	Memenuhi
3	Bendungan muka air normal dengan beban gempa MDE bagian hulu	1,289	1,646	1,2	Memenuhi
4	Bendungan muka air normal tanpa beban gempa bagian hilir	2,992	2,414	1,5	Memenuhi
5	Bendungan muka air normal dengan beban gempa OBE bagian hilir	2,530	1,959	1,2	Memenuhi
6	Bendungan muka air normal dengan beban gempa MDE bagian hilir	1,785	1,231	1,2	Memenuhi
7	Bendungan muka air maksimal tanpa beban gempa bagian hulu	1,583	4,382	1,3	Memenuhi
8	Bendungan muka air maksimal dengan beban gempa OBE bagian hulu	1,963	3,162	1,1	Memenuhi
9	Bendungan muka air maksimal dengan beban gempa MDE bagian hulu	1,277	1,735	1,1	Memenuhi
10	Bendungan muka air maksimal tanpa beban gempa bagian hilir	2,476	2,353	1,3	Memenuhi
11	Bendungan muka air maksimal dengan beban gempa OBE bagian hilir	2,510	1,907	1,1	Memenuhi
12	Bendungan muka air maksimal dengan beban gempa MDE bagian hilir	1,410	1,186	1,1	Memenuhi
13	Bendungan penurunan muka air surut cepat dari normal ke muka air minimum bagian hulu	1,695	2,176	1,3	Memenuhi
14	Bendungan penurunan muka air surut cepat dari normal ke muka air minimum bagian hilir	2,992	2,476	1,3	Memenuhi

Hasil Perhitungan faktor keamanan dapat dilihat pada Tabel 6 dan disajikan dalam bentuk grafik (Gambar 5), menunjukkan besaran nilai Fk masing-masing kondisi yang ditetapkan dengan pembagian klasifikasi berdasarkan urutan warna berbeda.

Hasil analisis dilakukan dalam 14 kondisi bendungan untuk dibandingkan faktor keamanan (Fk) minimum yang ditetapkan sesuai SNI 8064:2016 dengan warna dasar hitam pada tabel. 6. Berdasarkan hasil analisis yang diperoleh di 14 kondisi memiliki nilai faktor keamanan lebih besar dari standar minimal yang ditetapkan oleh faktor keamanan minimum (SNI). Dari semua kondisi dinyatakan Bendungan Butak memiliki stabilitas yang baik dan meskipun keruntuhan lereng dapat terjadi kapanpun dengan nilai faktor keamanan cukup kecil dengan zona kritis.

KESIMPULAN

Permukaan daerah Bendungan Butak seluruhnya terdiri dari satuan endapan

aluvium (Qa) yang tersusun oleh lempung dan lanau, lempung pada timbunan berada di kedalaman 0,0-5,0 m memiliki N_{SPT} 5-15 (teguh sampai kaku) dan tanah asli di kedalaman 5,0-10,0 m memiliki N_{SPT} 6-12 (teguh sampai kaku). Hasil faktor keamanan (Fk) dari 14 kondisi, semua memiliki nilai faktor keamanan lebih besar dari standar minimal yang ditetapkan oleh faktor keamanan minimum SNI 8064:2016. Dari semua kondisi dinyatakan Bendungan Butak memiliki stabilitas yang baik meskipun terdapat beberapa zona kritis.

Secara spesifik dari penggunaan parameter menggunakan beton pelapis di bagian hilir harus dikaji ulang dalam pengaplikasiannya. Hal ini dikarenakan memperkecil faktor keamanan (Fk) beban gempa mengalami penurunan signifikan yang akan berdampak pada penurunan kestabilan bendungan itu sendiri dan mengakibatkan zona kritis dengan nilai faktor keamanan cukup kecil. Rekomendasi di bagian hulu agar bangunan beton pelapis dapat diganti dengan media seperti

penutup kedap berbahan seperti aspal agar lebih ringan mengurangi pembebanan pada tubuh bendungan dan perlu penelitian lebih lanjut. Di sisi lain pengalokasian anggaran biaya pengeluaran lebih dimaksimalkan untuk perawatan bendungan secara berkala.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Selimut Bumi Adhi Cipta yang telah mengeluarkan izin pemakaian data lapangan Bendungan Butak untuk penulisan karya tulis ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ameratung, J., Sivakugan, N. dan Das, B.M., 2016. *Correlations of Soil Rock Properties in Geotechnical Engineering*. Springer: India.
- Chopra, A.K., 1995. *Dynamics of Structures (Theory and Applications to Earthquake Engineering)*. Prentice-Hall: New Jersey.
- Fredlund, D.G and Rahardjo, H., 1993. *Soil Mechanics for Unsaturated Soils*. John Wiley and Sons: New York.
- Linsey, R.K., Franzini, J.B., 1991. *Teknik Sumber Daya Air Jilid II Edisi III*. Erlangga. Jakarta.
- Soedibyo. 1993. *Teknik Bendungan*. Pradnya Paramita: Jakarta.
- Sosrodarsono, S and Takeda, K. 1981. *Bendungan Tipe Urugan*. Pradnya Paramita: Jakarta.

